

## ◆ 斜面の挙動特集 ◆

# AEによる斜面動態計測システムに関する研究 —土砂斜面における計測事例—

海老原和重\* 門間敬一\*\*

## 1. はじめに

日本では平坦地が少なく、急な斜面の直下や直上部にも多くの人家などがあり、ひとたび斜面崩壊が発生すると多くの犠牲者が出る危険性が内在している。現在の斜面崩壊発生予測システムは地すべり地におけるモニタリングに代表される伸縮計やGPSなど土塊の動きを観測し、そのデータを解析して崩壊発生を予測するものであり、長時間に亘るミリメートル単位の変形の観測であるため、比較的急激に発生する斜面崩壊現象には適さない部分がある。そこで、時間的余裕をもって適切な避難が出来るようにするために、より精度の高い、またリアルタイムの早期の斜面崩壊発生予測システム開発が必要である。

特に、岩盤崩壊のモニタリング技術については、平成8年2月に発生した豊浜トンネル坑口における岩盤崩落事故を契機にその重要性が再認識され、アコースティックエミッション<sup>1)</sup>(以下AEと称する)法の適用が注目されるようになっている。

一方、がけ崩れ災害の実態<sup>2)</sup>において斜面を構成する土質別に崩壊発生頻度を整理した結果では、崩壊した斜面の7割は土砂斜面であることが認められている(図-1)。これらの土砂斜面の崩壊も急

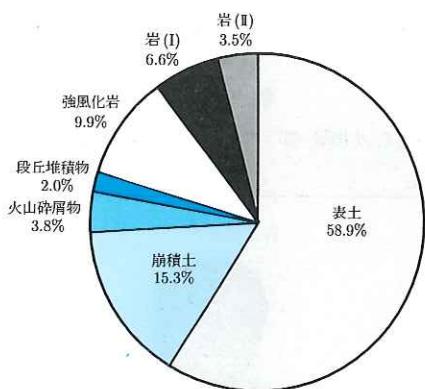


図-1 斜面土質構成別崩壊発生頻度

Study on Slope Movement Monitoring System using Acoustic Emission -Example of Monitoring in Earth Slope-

激に発生するという特徴を有しており、岩盤崩壊と同様にモニタリング技術の確立が望まれており、これらの分野にAE法の適用<sup>3),4),5)</sup>が期待されている。

そこで、共同研究「AEによる斜面動態計測システムに関する研究」<sup>6)</sup>の中で、AE法による土砂斜面動態モニタリングの適用性の検討を目的に、代表的な土砂斜面として固結度の低い砂岩・砂層(成田層)と表土からなる土砂斜面にAEセンサを設置し、斜面動態計測実験を行い、その結果についてとりまとめたので、以下に述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験現場及び実験対象斜面の概要

実験現場は、千葉県木更津市烏田字梅ヶ峰地先の土取り場である。実験対象斜面は、斜面高約20m、傾斜角が27~40°の北西向き斜面となっている。実験現場の地形は、上総丘陵の北西端部に位置する木更津丘陵に属し、標高100m以下の比較的小起伏の丘陵地である。地質は、第四紀中～後期更新



図-2 実験現場の位置図

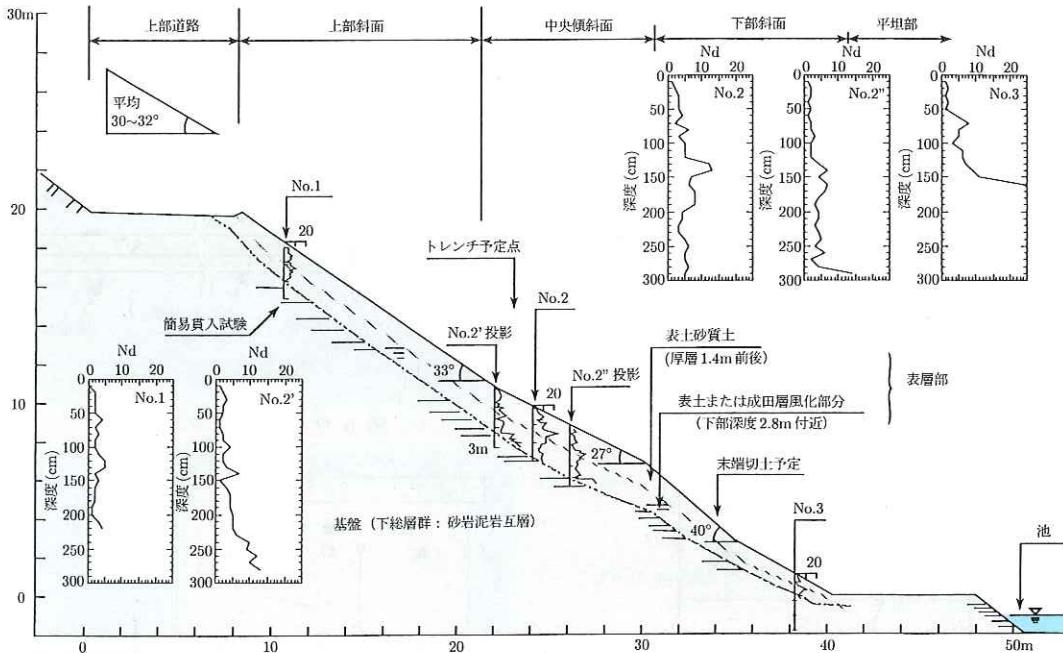


図 3 実験対象斜面模式断面図

世の下総層群が広く分布し、実験現場における切土斜面の下総層群は固結度が低くクロスラミナ(斜交葉理)の発達した砂岩主体の砂岩泥岩互層から成る。特に、対象斜面は、上述の互層が水平、あるいは斜面に対して緩やかな差し目構造(斜面の走向・傾斜: N32°E、30~35°NW、互層の走向・傾斜: N70°W、0~15°SW)をなし、それを粘土礫質もしくは砂質堆積物が斜面の表面を薄く覆うような地質構造を示している。また、実験対象斜面において、土研式簡易貫入試験を計5箇所実施した。その結果、推定された斜面模式断面図を図-3に示す。図に表したように、試験結果から推定すると、本斜面の堆積構造として、表層部は2層構造を成し、深度1.4m前後に第1層と2層の境界があると考えられ、深度2.8m付近に表層部と基盤との境界があると考えられる。

## 2.2 計器の配置

計測には、高周波AE(60KHz共振型)、低周波AEI(20KHz共振型)、低周波AEII(25KHz共振型)の3種類のAEセンサ、伸縮計、孔内傾斜計及び水分計を使用し、図-4に示すように配置した。なお、AEセンサについては、2種類のウェーブガイド<sup>7)</sup>を用いて設置した。一つはステンレスのウェーブガイド(以下、WGと称する)で、もう一つは土木研究所式WGである。それらの構造図を図-5に

示す。WGの長さは、それぞれ3mである(ただし、低周波AEI3のみ1m、低周波AEII3はWGなし)。また、雨量計、温度計を対象斜面近傍に設置し、気象を観測した。

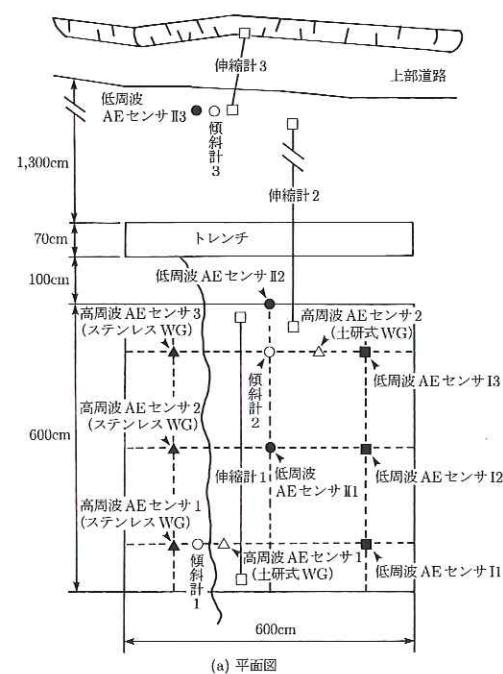
## 2.3 実験経過

実験は、平成9年6月6日~7月31日の期間で行い、6月6日~17日で計器の設置、予備計測等を行い、6月18日~7月31日の期間計測を行った。実験は、梅雨の自然降雨による崩壊時のデータの取得を目指したが、カラ梅雨であったため、崩壊を促進するために、図-4(b)に示す斜面のり尻のカット(6月17日)、トレンチ注水(6月23日~実験終了まで)、人工放水(7月11日)を行った。しかし、これらの処理を行っても、斜面全体が崩壊せず、小規模な崩壊に終わってしまった。

そこで、7月30、31日に再度人工放水を行い、強制的に斜面崩壊を発生させた。しかし、この放水によっても、当初期待したような斜面全体が塊として移動するような崩壊は発生せず、図-6に示すような、後退性の小崩壊が断続的に発生する結果となった。

## 3. 計測結果

図-7にAEセンサ以外の7月の計測結果例を示す。伸縮計1については、7月10日から降り続い



(a) 平面図

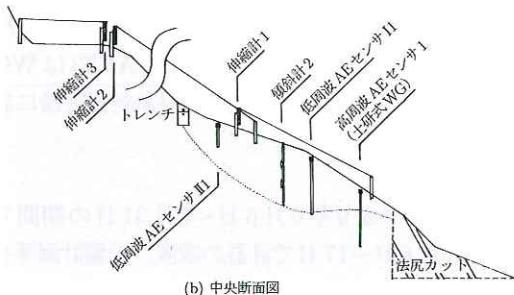


図-4 計器の配置図

た降雨により、人工放水以前に1mm程度下方に斜面が移動する傾向が認められるが、人工放水直後にこの傾向が顕著になっている。伸縮計1については、7月11日19:35に杭が倒れ落ちて、計測不能になっている。また、斜面最下部に設置した傾斜計1についても、人工放水直後から下方に移動する傾向を顕著に示すようになり、7月12日13:50に崩れ落ちている。しかし、このほかの伸縮計および傾斜計には顕著な動きはなく、土砂の移動は斜面下部の局部的に生じ、斜面全体を不安定化させるに至らなかったと考えられる。

図-8にAEセンサの7月の計測結果例を示す。高周波AEにおける大きなAEの発生ピークとして7箇所あるが、これらのピークはいずれも降雨期間と重なっており、検出しているAEのほとんどは降雨に起因するAEであり、僅かに斜面の動態

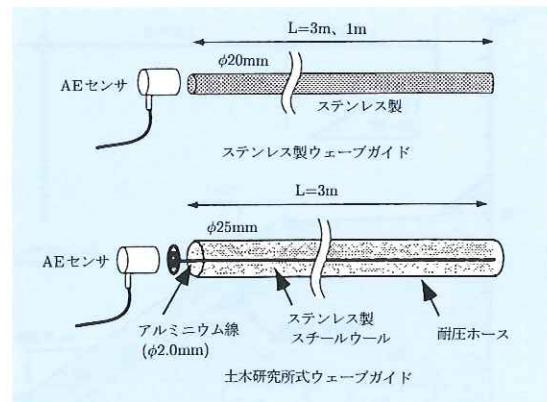


図-5 ウエーブガイドの構造図

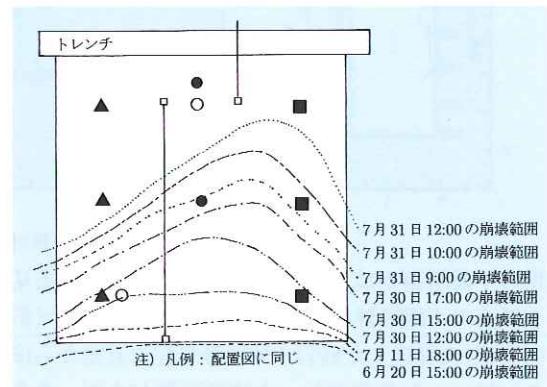


図-6 人工放水による崩壊発生の状況

を表すものもある可能性はあるが、現時点における分離は難しいと判断される。低周波AEIも高周波と同様に降雨時と連動して大きなAE発生ピークがあり、降雨に起因するAEによるものと考えられる。低周波AEIIのAE発生挙動についても、他の二つと同様に降雨と連動してAE発生ピークがあり、降雨に起因するAEの影響を強く受けていると思われる。

図-9に7月31日における人工放水時の計測結果例を示す。図より傾斜計2が10:00頃から変位を開始し、10:30直前に斜面表面が大きく下方に移動したことを見ている。一方、AEについては、いずれのAEセンサとも放水時間帯に集中してAEを検出している。これは、通常の降雨時同様に、放水の衝撃によるAEを検出している可能性が高い。このため、この時間帯に斜面変位した可能性はあるものの、AEによってその有無を判断することは困難である。しかし、10:25~10:55の低周波AEセンサIIのAE発生挙動に注目してみると、放水時間帯以外でもAEが顕著に発生し

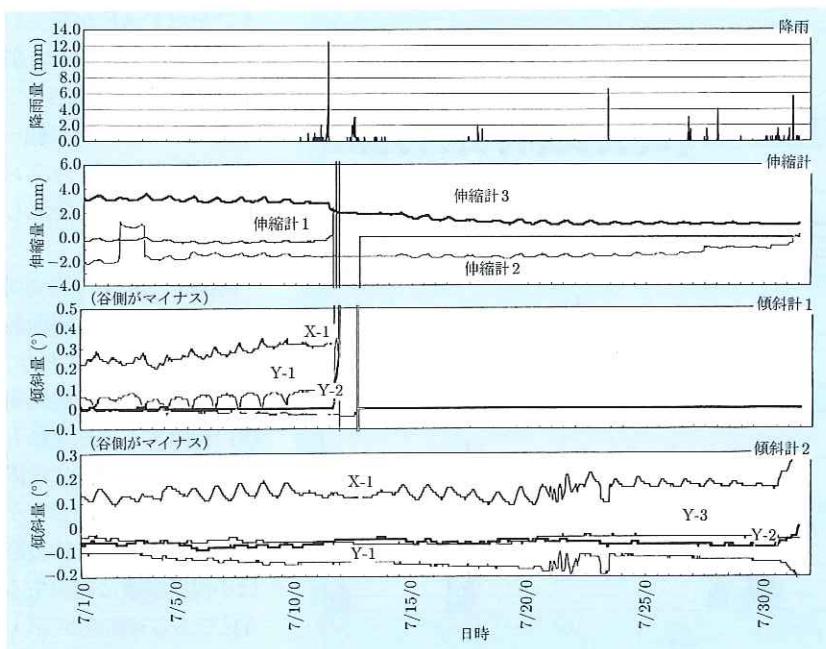


図-7 AE センサ以外の計測結果例(7月分)

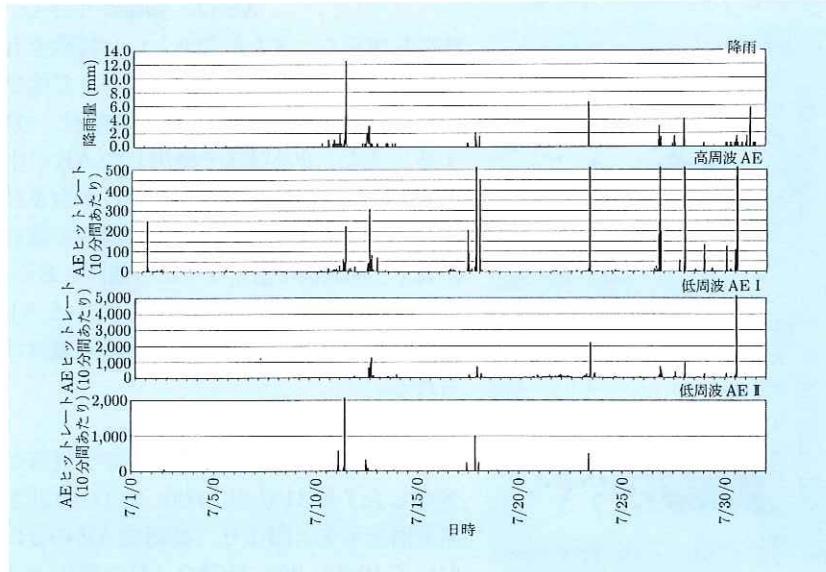


図-8 各 AE センサの計測結果例(7月分)

ている時間帯があることが確認できる。

#### 4. 考察

##### 4.1 降雨時の AE パラメータの特徴

上述の結果で明らかなように、いずれの AE センサにおいても降雨と連動して AE を検出する傾向にあり、降雨時に計測される AE の大部分は雨滴あるいは流水によって発生した AE がセンサまで伝播したものと考えられる。しかし、土砂斜面

の崩壊は降雨時に斜面内部の間隙水圧が増加し土砂の強度が低下することによって発生するため、検出された AE の中には斜面崩壊の前兆現象である土粒子の摩擦によって発生した AE も含まれている可能性が高い。従って、AE 計測を用いて斜面の動態を監視するためには、計測された個々の AE 信号と物理的な現象との対応を明確にし、発生要因別に AE の発生パターンを明らかにする必要がある。そこで、斜面の不安定化に起因する AE が多く発生している時間帯について、AE パラメータから降雨時の AE 波形の特徴化を検討した。なお、検討には降雨と小崩壊が発生している時間帯と小崩壊のみが発生している時間帯についての高周波 AE データを用い、これらの時間帯に発生した AE について、振幅、波形長、カウントの各 AE パラメータをプロットした結果を図-10 に示す。この図に示される時間帯①のデータに注目すると、

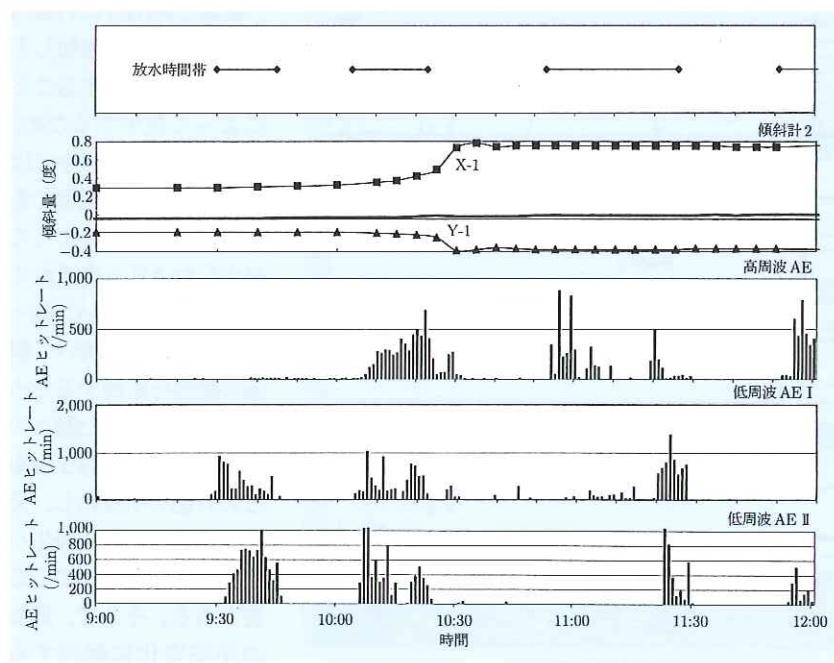


図-9 人工放水時の計測結果例(7月31日)

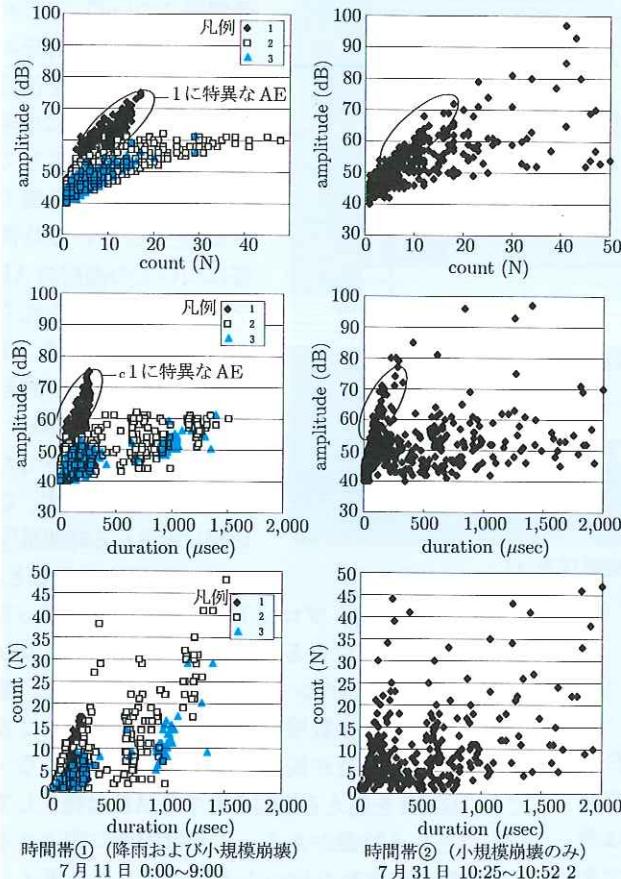


図-10 高周波AEにおける崩壊時と降雨時のAEパラメータの比較

イプを示すAEが発生しているものの、時間帯①における1で検出しているタイプのAE(振幅=大・波形長=短・カウント=少)も数多く発生している。

時間帯①中の1の高周波AEセンサは、斜面最下部に埋設されており、斜面下部付近の小規模崩壊に起因するAEを最も検出やすい位置に設置されている。このことから、1に特異なAE波形は小規模崩壊に起因するAEである可能性が高い。一方、雨滴に起因するAEは、振幅が小さく、

波形長が長く、また低周波という特徴を有しているものと考えられ、2及び3で検出されているAEのパラメータの特徴と一致する。また、2及び3で検出したAEの中にも、小規模崩壊に起因するAEが含まれるものと考えられるが、伝播の過程で波形が長く、周波数が低くなった可能性もある。このことは、時間帯②で発生しているAEには多様なタイプがあることからも裏付けられる。

#### 4.2 小崩壊とAEの発生挙動

図-11に人工放水時間帯以外で小崩落が多発した7月31日の10:00~11:00の計測結果例を示す。図より、高周波AEの2において10:28~29に活発なAEの発生が認められる。この時刻は、高周波AEの2の近傍で小崩落が発生している。一方、3では、この時刻におけるAEの発生は認められない。また、3では、頻度としては小さい(10ヒット/秒程度)が10:40以降連続的なAEが発生しており、全体として斜面が不安定化していることと対応している可能性が考えられた。低周波AEIについては、2、3ともに、10:45直前に活発なAEの発生が認められる。この時刻は、低周波AEI

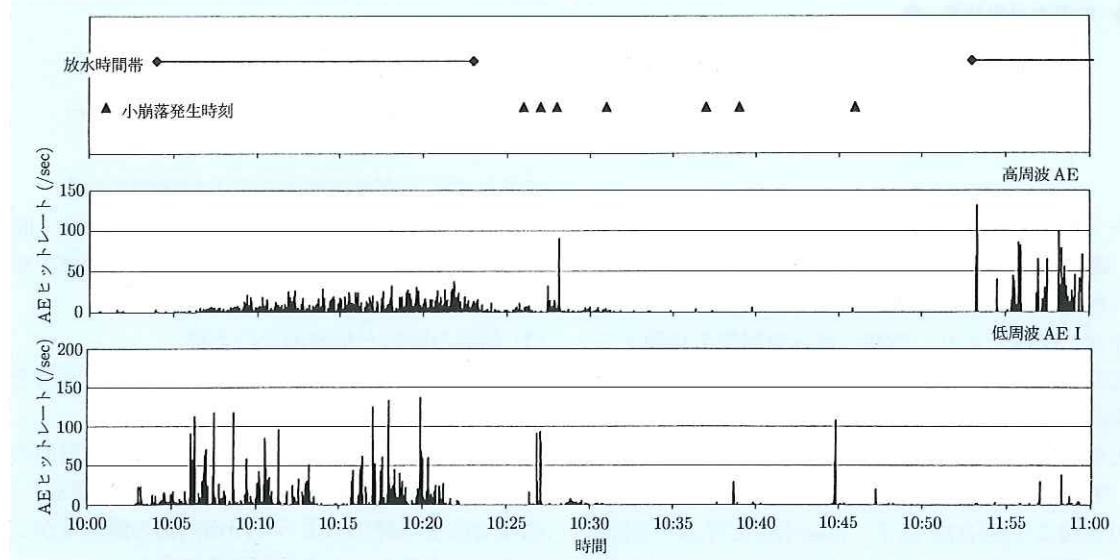


図-11 小崩壊と AE の発生挙動

の2近傍で小崩壊が発生しており、これと対応していると考えられる。

## 5. まとめ

AE センサーが拾うデータの中には、斜面崩壊を示す AE の他に、降雨に起因する AE 等さまざまな AE が含まれていて、これらをいかに分離するかが重要であり、今回実施した土砂斜面における斜面動態計測実験により以下の点が明らかになった。

- ① 降雨時には、雨滴に起因する AE が多数発生する。これらの降雨に起因する AE の中に斜面変動に起因する AE が含まれるような場合でも、AE センサの設置位置によっては AE パラメータによりこれを分離することができる可能性がある。
- ② 高周波 AE、低周波 AE のいずれによっても大規模崩壊の前兆である小規模崩壊の発生をとらえる可能性がある。
- ③ 土砂斜面の崩壊は降雨が直接の原因になる場合がほとんどである。このことは、降雨に起因する AE をいかに除去するかが、実際の土砂斜面における AE 法の実用化を進める上で不可欠な課題であることを示している。

## 参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論, 森北出版(株)
- 2) 門間敬一、武士俊也：がけ崩れ災害の実態, 土木研究所資料第 3484 号, 1997.3
- 3) 秩父顯美、城和裕、香川和夫、鎌田正孝：AE による斜面の動態観測について, 第 42 回年次学術講演会概要集, 第 6 部, pp.140-141, 1987.9
- 4) 岡崎健治、鈴木哲也：AE 法による地すべり調査, 土質工学研究発表会講演集, Vol.29, No.2-1, pp.141-142, 1994.
- 5) 笹原克夫、海老原和重、門間敬一、石橋晃陸：斜面の変形・破壊挙動の AE パラメーターによる評価, 地すべり, Vol.33, No.2, pp.17-24, 1996.9
- 6) 門間敬一、海老原和重：AE による斜面崩壊予測システムの開発, 土木技術資料, Vol.39, No.10, pp.2-3, 1997.10
- 7) 石橋晃陸、福地伸一、笹原克夫、網本亮介：表層崩壊監視のための AE ウェーブガイドの構造について, 第 34 回地すべり学会研究発表講演集, pp.233-236, 1995.11

海老原和重\*



建設省土木研究所砂防部  
急傾斜地崩壊研究室研究員  
Kazushige EBIHARA

門間敬一\*\*



同 急傾斜地崩壊研究室長  
Keiji MONMA